

森林・農業班 C

北部ラオス、ベン川流域の水田における珪藻の多様性

藤田裕子（滋賀県立琵琶湖博物館）大塚泰介（滋賀県立琵琶湖博物館）松田 晃（京都大学農学研究科）

キーワード：珪藻、多様性、水田、収量、指標

調査期間・場所：2003 年 10 月 14-24 日，ウドムサイ県ベン川流域

The diatom diversity of paddy fields in Ben River basin, northern Laos.

Yuko FUJITA(Lake Biwa Museum),Taisuke OHTSUKA(Lake Biwa Museum),Akira MATSUDA(Graduate School of Agriculture, Kyoto University)

Keywords: diatom, diversity, flora, paddy field, yield, indicator

Research Period and Site: 2003, October 17-21, Beng River basin

要旨

珪藻は、水域の環境指標として使われる代表的な藻類である。珪藻は水田にも大量に発生することが知られており、珪酸など稲作に影響を及ぼす成分との関係が指摘されている。しかしながら、水田における珪藻調査例は非常に少なく、日本で数例の報告があるのみである。我々は、2003 年にラオス北部、ウドムサイ県ベン川流域で、IR352 を作付けしている落水後の水田 4 か所、Kao takiat を作付けして湛水中の水田 2 か所、計 6 か所の水田から表層土壌を採取した。固定した土壌懸濁液から珪藻量の直接計数し、酸処理した土壌でプレパラートを作成して珪藻種の同定を行い、珪藻群集と水田環境との関係について検討した。

珪藻量は、 10^2 - 10^4 cells g^{-1} soil と日本の水田に比べると 1～2 オーダー少なかった。6 つの水田で、合計 26 属 88 種の珪藻種が確認され、約 30 種は日本の水田からも報告されている。珪藻群集の構成は水田によって大きく異なっていたが、Navicula、Nitzschia、Pinnularia 属の珪藻種が複数の水田で優占し、Navicula veneta と Sellaphora pupula var. capitata は 5 か所以上の水田で確認された。収量の多い水田で珪藻種数が多く、収量の少ない水田では珪藻量、珪藻種数ともに少ない傾向が見られた。一方、培養法によって得られた緑藻やラン藻の藻類量には、稲の収量を反映するような違いは見られなかった。これらの結果から、ラオスの水田においては、珪藻の多様性は水稻の収量予想の有用な指標となる可能性が考えられた。

1. はじめに

ラオスの主食であるコメは、焼畑と水田によって栽培されているが、政府の政策により焼畑禁止面積は拡大する傾向にあり、水田における収量増加が必要とされている。伝統的な水稻栽培では、コメの収量は土壌や水条件、品種に影響されると考えられるが、今後より高い収量を目指して新しい栽培品種や農業機械類、化学肥料、農薬の導入が行われていくことも予想され、水田および水田をとりまく生態系の環境が変化していく可能性がある。

珪藻は、水域の環境指標として使われる代表的な藻類で（例えば Watanabe et al. 1986）、水田にも大量に発生することが知られており（倉沢 1955, 1956, 1957）、珪酸など稲作に影響を及ぼす成分との関係も指摘されている（三枝ら 2004）。珪藻の群集構造を調べることによって、さまざまな生物が生息する生態系としての水田の環境条件を推測することが可能である。しかしながら、水田における珪藻調査例は非常に少なく、日本、バングラディッシュ、セネガルの水田において出現種や季節変化、バイオマス変化について数例の報告がある（Kanetsuna, 1961; ROGER, P. A. and P. A. REYNAUD, 1976, 1977; Negoro and Hashimoto, 1986; Whitton et al., 1988; Ohtsuka and Fujita, 2001）他は、珪藻の細胞密度や出現種数といった基礎的な情報もほとんど報告されて

いない。今後、起こりうる水田生態系の変化を知るために、現状の環境情報を取得することはきわめて重要である。本研究では、ラオス北部、ウドムサイ県ベン川流域の水田において珪藻の多様性を調査するとともに、珪藻群集の特徴と水田の環境要因との関係についても検討した。

2. 方法

1] 調査地

調査は、2003 年 10 月にラオス北部、ウドムサイ県のベン川流域の 6 水田で行った (Fig. 1, Table 1)。ベン川はウドムサイ県中心部を北東から南西に横切り、メコン川に合流し、流域各所に水田が見られる。調査した 6 水田のうち 4 水田 (NP1, NP2, FE1, SX1) では 2003 年から IRRI の栽培品種 IR352 を、他の 2 水田 (NL1, NL2) では伝統品種 Khao Takiat を栽培していた。これらの調査水田では化学肥料や農薬は使用されておらず、水源として NP1, NP2, FE1, SX1, NL1 の 5 水田ではベン川の支流もしくは水田周辺山地からの流水を利用していたが、NL2 ののみ外部水域から水の流入のない天水田である。調査時、NL1, NL2 は湛水状態であった。また各水田ともまだ稲の刈り取りは行われていなかった。

全ての調査地において、坪刈法に基づき、一定面積のイネの株を刈り取りその重さを測定することによって、収量を測定した。



Fig. 1 Study sites

Table 1. Study sites and soil properties

Site	Village	Variety	Yield (t ha ⁻¹)	Soil moisture content(%)	Total N (%)	Total C (%)	pH	EC (mS m ⁻¹)	Available P (mg/kg)	Ex.K cmol(+) kg ⁻¹	Ex.Mg cmol(+) kg ⁻¹	Ex.Ca cmol(+) kg ⁻¹	Ex.Na cmol(+) kg ⁻¹	CEC cmol(+) kg ⁻¹
NP1	Napa Tai	IR352	3.1	35.8	0.19	1.78	6.0	6.7	10.6	0.2	1.5	8.5	0.1	10.3
NP2	Napa Tai	IR352	3.3	19.3	0.10	1.06	5.5	6.3	18.6	0.1	0.6	3.4	0.0	6.2
FE1	Fei	IR352	2.7	31.2	0.23	2.19	7.9	14.6	15.1	0.2	1.4	24.7	0.1	18.2
SX1	Somxai	IR352	1.6	29.8	0.18	1.90	8.0	18.6	12.6	0.2	1.5	29.7	0.1	15.4
NL1	Nale	Khao Takiat	3.5 ¹⁾	66.4	0.17	1.81	-	-	-	-	-	-	-	-
NL2	Nale	Khao Takiat	3.5 ¹⁾	49.7	0.18	1.93	-	-	-	-	-	-	-	-

1) Data of Muang Xay

2] 土壌採取と処理

各水田の 2～3 カ所に試料採取地点を設定し、直径 4cm のコアチューブを土壌表層から約 1cm の深さまで差し込み、大型の動植物片と表層水がある場合はそれを取り除いて残った土壌を採取した。採取した各土壌サンプルはよく混合し、細かく粉砕して 100ml の蒸留水で希釈し、土壌懸濁液をホルマリン溶液で固定した。殻の中に葉緑体のあるものを生きていた珪藻細胞として計数した。土壌懸濁液を 10% 過酸化水素溶液で煮沸、洗浄して有機物を取り除いた後、プレパラートに封入して光学顕微鏡下で観察して珪藻種の同定を行った。

また採取した土壌を用いて、土壌成分の分析を行い、議論の材料とした。

Table 2. The abundance and diversity of diatoms

3. 結果と考察

珪藻量は、湛水中の NL1 で 1.5×10^4 cells g⁻¹ soil と最も多く、落水していた NP1、NP の $22.7-7.0 \times 10^3$ cells g⁻¹ soil とよりも 1 オーダー高くなっていた (Table 2)。これは NL1 では外部水域から水とともに流入した水生藻類が増殖していたのに対して、落水していた NP1, NP2 ではそれらの藻類が乾燥によって減退し始めていたためと考えられる。また、湛水していたにもかかわらず天水田の

site	diatom abundance (cells g ⁻¹ soil)	The number of diatom taxa
NP1	7.0×10^3	44
NP2	2.7×10^3	22
FE1	1.0×10^2	22
SX1	1.0×10^2	2
NL1	1.5×10^4	32
NL2	7.1×10^3	23

Table 3. List of the diatom taxa in 6 paddy soils.

	NP1	NP2	FE1	SX1	NL1	NL2
<i>Acnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarn.	○	○				
<i>Amphora copulata</i> (Kütz.) Schoeman & R.E.M.Archibald	○					
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	○		○			
<i>Caloneis limosa</i> (Kütz.) R.M.Patrick	○				○	
<i>Caloneis minuta</i> (Grunow) Ohtsuka & Fujita	○					
<i>Cocconeis</i> sp.	○					
<i>Craticula ambigua</i> (Ehrenb.) D.G.Mann		○	○		○	
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G.Mann					○	○
<i>Craticula riparia</i> (Hust.) Lange-Bert.					○	
<i>Craticula</i> sp.	○					
<i>Cyclotella meneghiniana</i> (Kütz.)		○				
<i>Cymbella Kolbei</i> Hust.	○		○			
<i>Diadesmis confervacea</i> Kütz		○				○
<i>Encyonema jemtlandicum</i> var. <i>venezolana</i> Krammer	○					
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	○					
<i>Eunotia crista-galli</i> Cleve					○	
<i>Fallacia tenera</i> D.G.Mann						○
<i>Fallacia</i> sp.	○					
<i>Frustulia crassinervia</i> (Breb. in W.Sm.) Lange-Bert. & Krammer					○	
<i>Gomphonema gracilis</i> Ehrenb.			○		○	○
<i>Gomphonema lagenula</i> Kütz.			○			
<i>Gomphonema macLaughlinii</i> E.Reichardt					○	
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz.) Kütz.	○		○			
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> E.Reichardt			○			
<i>Gomphonema</i> sp.1	○				○	
<i>Gomphonema</i> sp.2	○					
<i>Gyrosigma procerum</i> Hust.	○		○			○
<i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabenh.) Cleve			○			
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow	○	○				
<i>Luticola aequatorialis</i> (Heiden) Lange-Bert. et Ohtsuka	○	○			○	○
<i>Luticola muticoides</i> Hust.		○				
<i>Luticola seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann		○				
<i>Naviculla gibbosa</i> Hust.	○					
<i>Naviculla gregaria</i> Donkin			○			○
<i>Naviculla notha</i> Wallace					○	
<i>Naviculla rostellata</i> Kütz.	○		○			○
<i>Naviculla trivialis</i> Lange-Bert.			○			○
<i>Naviculla veneta</i> Kütz.	○	○	○	○		○
<i>Naviculla</i> sp.			○			
<i>Neidium ampliatus</i> (Ehrenb.) Krammer	○					
<i>Neidium arvensis</i> Hust.	○					
<i>Neidium gracilis</i> Hust.					○	
<i>Neidium gracilis</i> f. <i>aequalis</i> Hust.					○	
<i>Neidium longiceps</i> W.Greg.	○	○				
<i>Neidium</i> sp.						○
<i>Nitzschia acicularioides</i> Hust.	○					
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	○	○	○	○		
<i>Nitzschia</i> cf. <i>Sigma</i> (Kütz.) W.Sm.						○
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kütz.) Grunow						○
<i>Nitzschia elegantula</i> Grunow	○					
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kütz.) Grunow					○	
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch					○	
<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow						○
<i>Nitzschia subtilis</i> Grunow						○
<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenb.) Lange-Bert.						○
<i>Nitzschia</i> sp.	○	○				○
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> W.Sm.			○		○	
<i>Pinnularia brebissonii</i> var. <i>bicuneata</i> Grunow	○	○				
<i>Pinnularia eifelana</i> (Krammer) Krammer					○	
<i>Pinnularia hemipteriformis</i> Krammer & Metzeltin					○	
<i>Pinnularia marchia</i> Ilka Schonfelder in Krammer	○					
<i>Pinnularia mesolepta</i> (Ehrenb.) W.Sm. var. <i>intermedia</i> (Robert) Krammer			○		○	
<i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>angusta</i> Krammer	○				○	
<i>Pinnularia rivularis</i> Kütz.					○	
<i>Pinnularia similis</i> Kütz.			○		○	
<i>Pinnularia stomatophora</i> Kütz.			○		○	
<i>Pinnularia subcapitata</i> Greg.	○				○	

	NP1	NP2	FE1	SX1	NL1	NL2
<i>Pinnularia subcapitata</i> var. <i>paucistriata</i> Grunow	○	○				
<i>Placoneis pseudanglica</i> Lange-Bert.		○				○
<i>Placoneis undulata</i> (Østrup) Lange-Bert.	○	○	○			○
<i>Placoneis</i> sp.	○	○				
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenb.) O.Müller.	○		○			
<i>Rhopalodia michelorum</i> Krammer	○				○	○
<i>Sellaphora japonica</i> (H.Kobayashi)	○					
<i>Sellaphora laevisissima</i> Kütz.	○	○			○	
<i>Sellaphora mutata</i> (Krasske) Lange-Bert.						○
<i>Sellaphora pupula</i> (Kütz.) Mereschk.		○				
<i>Sellaphora pupula</i> var. <i>capitata</i> (Hust)	○	○	○		○	○
<i>Sellaphora pupula</i> var. <i>rectangularis</i> (W.Greg.)		○				
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenb.	○				○	
<i>Stauroneis barrowiana</i> 1)					○	
<i>Stauroneis seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann		○				
<i>Stauroneis subgracilis</i> Lange-Bert. & Krammer	○				○	
<i>Stauroneis</i> sp.					○	
<i>Surirella</i> sp.	○					
<i>Tryblionella levidensis</i> W.Sm.	○					
<i>Tryblionella parvula</i> W.Sm.	○					
<i>Tryblionella salinarum</i> (Grunow) Pelletan					○	○

1)記載同定根拠不明

NL2 では NL1 ほど藻類量は多くなく、外部水域からの藻類種の流入が無かったことを裏付けている。FE1 と SX1 では 1.0×10^2 cells g⁻¹ soil と極端に少ない藻類量であった。土壌の分析結果を見ると、EC、交換性カルシウム、交換ナトリウムが高い値を示しており、これが原因となっている可能性が高い (Table 1)。

6つの水田で、合計 26 属 88 種の珪藻種が確認された (Table 2, Table3)。珪藻群集の構成は水田によって大きく異なっていた。最も多い 44 種が確認された NP1 では *Caloneis*、*Naviculla*、*Neidium*、*Nitzschia*、*Pinnularia*、*Sellaphora* 属の多様な種が優占していた。同じく NP2 では *Sellaphora* 属、湛水されていた NL1 では *Neidium*、*Pinnularia*、*Stauroneis* 属、NL2 では *Nitzschia* 属の種が多く観察された。SX1 以外の水田で多く観察された *Neidium*、*Pinnularia* 属の珪藻は天水田の NL2 では全く観察されず、これらが外部水域から流入した珪藻種である可能性が強いと考えられる。珪藻量の少なかった FE1 と SX1 のうち、FE1 では *Gomphonema*、*Gyrosigma*、*Naviculla* 属の珪藻種を中心に 22 種が確認されたが、SX1 では 2 種しか確認できず珪藻の生息に不適であることがわかった。SX1 で見られた *Navicula veneta* と *Nitzschia Amphibia* は日本でも様々な水域で観察される珪藻であり、他の珪藻が生息しにくい環境条件でも適応していく能力を持つ種だといえる。*Navicula veneta* と *Sellaphora pupula* var. *capitata* は 5 か所以上の水田で確認され、水田の環境に適応していると考えられた。藻類量の結果のように、調査水田が湛水中であったか否かによる違いは見られなかった。このことは、珪藻が死後の殻についても種同定が可能であるため、採取時の水田が湛水状態であったか否かによって、多様性の評価に影響をうけることは少ないことを示している。全 88 種のうち約 30 種は日本の水田表層土壌からも報告されている (Ohtsuka and Fujita, 2001)。一方、バングラディッシュの水深の深い水田で、浮遊藻類と稲に付着した藻類について調査した Whitton et al. (1988) は、約 60 種の珪藻を報告しているが、このうち本調査でも確認されたのは 6 種のみであった。これは、本調査が土壌表層の珪藻を調査対象としていたことに加え、本調査水田では湛水時の水深が 15cm 程度と比較的浅く、水深によって生息環境が全く異なっていた可能性も否定できない。

収量と珪藻種数の関係を Fig. 2 に示した。全体として、収量の多い水田で珪藻種数が多く、収量の少ない水田では珪藻量、珪藻種数ともに少ない傾向が見られた。同じ土壌から培養法によって得られた緑藻やラン藻の藻類量には、稲の収量を反映するような違いは見られなかった (Fujita, 2003)。おそらく稲と同じく珪酸を必須要素とする珪藻は、藻類の中でも生息条件に対する反応が最も稲に近いと考えられる。先に述べたように、SX1 の収量の低さは土壌条件が原因になっている可能性もあるが、土壌の分析値や気象条件から、例えば、FE1 と SX1 の収量の違いを予測することは難しい。これらのことから、ラオスの水田における珪藻の多様性は、水稻の収量予想の有用な指標となる可能性が考えられた。

4. 今後の調査

本調査はラオスの水田における珪藻の多様性を初めて報告するとともに、稲の収量と珪藻の多様性の興味ある可能性を指摘した。しかし、データ数はまだ少なく、議論を補足するためにはさらに多くの水田で調査を行っていく必要がある。珪藻自身が水田の生態系において果たす役割については、主要な一次生産者のグループであること以外に、またほとんどわかっていないが、多くの水田で同様の調査を行うことによって、地域による水稻作のさまざまな技術の違いや立地条件の違いと、珪藻の多様性との関連を明らかにしていくことが可能である。

文献

- 藤田裕子 2003 ラオス北部の水田における微細藻類の生態学的研究—藻類量—. 総合地球環境学研究所 研究プロジェクト 4-2 2003 年度報告書: 132-136.
- Kanetsuna, Y. 1961 Studies on the diatom-and desmid-flora of the reclaimed paddy fields by drainage in the city of Toyohashi, Aichi Prefecture. Jpn. J. Limnol., 21: 73-86.
- 倉沢秀夫 1955 水田における Plankton の消長. 日本生物地理学会会報, 16-19: 428-432.
- 倉沢秀夫 1956 水田に於ける Plankton 及び Zoobenthos の組成並びに Standing Crop の季節変化 (I). 資源科学研究所彙報, 41-42: 87-98.
- 倉沢秀夫 1957 水田に於ける Plankton 及び Zoobenthos の組成並びに Standing Crop の季節変化 (II). 資源科学研究所彙報, 45: 73-84.
- 三枝正彦・小林紀子・山本晶子 2004 大区画水田における田面水中のケイ素濃度の変化. 日本土壌肥科学雑誌, 75: 1-7.
- Negoro, K. and M. Higashino 1986 Diatom vegetation of paddy fields in Japan. Report I. Diatom vegetation of paddy fields in the vicinity of Sakurai City, Nara Prefecture. Diatom, 2: 108.
- Ohtsuka, T. and Y. Fujita 2001 The diatom flora and its seasonal change in a paddy field in Central Japan. Nova Hedwigia, 73: 97-128.
- Roger, P. A. and P. A. Reynaud 1976 Dynamique de la population algale au cours d'un cycle de culture dans une rizière sahélienne. Rev. Écol. Biol. Sol., 13: 545-560.
- Roger, P. A. and P. A. Reynaud 1977 La biomasse algale dans les rizières du Sénégal: importance relative des Cyanophycées fixatrice de N_2 . Rev. Écol. Biol. Sol., 14: 519-530.
- Watanabe, T., K. Asai, A. Houki, S. Tanaka and T. Hizuka 1986 Saprophilous and eury saprobic diatom taxa to organic pollution and diatom assemblage index (DAIpo). Diatom, 2: 23-73.
- Whitton, B. A., A. Aziz, B. Kawecka and J. A. Rother 1988 Ecology of deepwater rice-fields in Bangladesh. 3. Associated algae and macrophytes. Hydrobiologia, 169: 31-42.

ABSTRACT

The diatom floras in 5 paddy soils and 1 rainfed paddy soil were investigated in Ben River basin, northern Laos. Diatom cell densities ranged from 10^2 to 10^4 cells g^{-1} soil. A total of 88 species belonging to 26 genera were found. The dominant genera were Navicula, Nitschia, and Pinnularia in most paddy soils. Navicula veneta and Sellaphora pupula var. capitata were observed in more than 5 paddy soils. The number of diatom species was large in the paddy soils in which rice yield was large. Thus diatom diversity may be a useful indicator of rice yield.